doi 10.3969/j.issn.1673-4254.2016.10.20

J South Med Univ, 2016, 36(10): 1410-1416

临床研究

2型糖尿病患者足部的生物力学特点303例报告

李文霞,曹 瑛,邹梦晨,黄 莺,胡 萍,罗祥蓉,蒋 娅,薛耀明,高 方

南方医科大学南方医院内分泌代谢科,广东 广州 510515

摘要:目的 调查2型糖尿病患者的步态、足型、足轴角度、足底压力等生物力学特点。**方法** 2013.12~2015.03年在我院内分泌科住院的303例2型糖尿病患者纳入研究。足底被分为10个区域,第1趾(T1)、2~5趾(T2~5)、第1跖骨(M1)、第2跖骨(M2)、第3跖骨(M3)、第4跖骨(M4)、第5跖骨(M5)、中足(MF)、足跟内侧(HM)、足跟外侧(HL)。收集一般资料及使用FootScan步态系统收集压力峰值、足轴角度、足弓指数、支撑时相数据。按照不同因素进行分组,比较组间的足底压力,组间比较采用独立样本*t*检验或卡方检验或方差分析进行统计分析。**结果** (1)左足底各区域压力大小排序:M3>M2>M4>HM>HL>M1>M5>T1>ML>T2-5;右足底各区域压力大小排序:M3>M2>HM>M4>HL>M1>M5>T1>ML>T2-5。比较左右足各区域的足底压力,右足的M1的压力峰值较左足高(4.90±2.64 *vs* 5.58±2.86,*P*<0.05),左足M3、M4、M5、MF的压力峰值均比右足高(12.61±4.12 *vs* 10.46±3.20;9.73±4.00 *vs* 7.74±2.96;4.58±2.50 *vs* 3.68±1.91;2.75±1.26 *vs* 2.51±1.18,均*P*<0.05)。将总足底压力≥70 N/cm²定义为高危足,则左足高危足占34%,右足为17.7% 。除外右足过轻组,随着BMI增大高危足比例显著增加;(2)支撑相的整足接触阶段延长,离地阶段缩短;与右足对比,左足弓指数大(28.1±3.9 *vs* 24.5±3.7,*P*<0.05),低弓足多(49.5% *vs* 11.55%,*P*<0.05),正常足弓少(46.53% *vs* 74.58%,*P*<0.05),高足弓少(3.96% *vs* 11.55% ,*P*<0.05)。与正常足弓对比,左侧高弓足组的总足底压力升高(49.5% *vs* 11.55%,*P*<0.05);右足足轴角度比左足大(18.1±9.2 *vs* 22.5±10.4,*P*<0.05);(3)男性双侧总足底压力均比女性大(左,67.6±13.8 *vs* 61.5±12.5;右:62.5±11.9 *vs* 56.7±10.5,*P*<0.05)(*P*<0.05)。按年龄分组,<50组、50~60组、61~70组、>70组各组总足底压力随着年龄增大而下降。不同病程、糖化血红蛋白和足轴角度分组间的总足底压力差异无统计学无意义(*P*>0.05)。**结论** 糖尿病患者的足部生物力学明显改变,这些因素与足底压力异常相关,其中支撑相的整足接触阶段延长,离地阶段缩短,足型畸形率明显增加,足轴角度较大。另外,超重及肥胖的患者高危足比例增加。所以,对糖尿病患者进行减压时应充分考虑糖尿病患者多方面生物力学特点。超重及肥胖患者进行减压的同时减轻体重有利于预防溃疡出现。

关键词:糖尿病;生物力学;足底压力;步态;足型;足轴角度

Anlysis of foot biomechanics characteristic in 303 patients with type 2 diabetes mellitus

LI Wenxia, CAO Ying, ZOU Mengchen, HUANG Ying, HU Ping, LUO Xiangrong, JIANG Ya, XUE Yaoming, GAO Fang

Department of Endocrinology and Metabolism, Nanfang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China

Abstract: Objective To investigate foot biomechanics characteristic of patients with type 2 diabetes mellitus. **Methods** This study was conducted among 303 patients with type 2 diabetes. The whole foot was divided into 10 regions, namely the first toe (T1); the second to fifth toes (T2-5); the first, second, third, fourth, and fifth metatarsals (M1, M2, M3, M4, and M5, respectively); midfoot (MF), and the heel medial (HM). Foot arch index, foot angle and maximum peak pressure (MPP) of the 10 regions were measured using a Footscan gait system. **Results** The maximum peak pressure of 10 regions decreased in the order of M3>M2>HM>M4>HL>M1>M5>T1>ML>T2-5 for the left foot, and in the order of M3>M2>HM>M4>HL>M1>M5>T1>ML>T2-5 for the right foot. The MPP in M1 region was higher in the right than in the left foot (*P*<0.05). The MPP in M3, M4, M5, and MF was higher in the left than in the right foot (*P*<0.05). The percentage of high-risk foot (defined by a total plantar pressure ≥70 N/cm²) was 34% on the left and 17.7% on the right. An increased BMI was associated with a significant increase in high-risk foot, but not for the right foot in underweight patients. Foot flat phase was extended and forefoot push-off phase shortened in stance phase in the patients. Compared with the right foot, the left foot showed a significantly increased foot arch index and increased low and high arch rates with a decreased normal arch rate. Total plantar pressure was higher in of the left high arch foot than in normal arch foot. The foot angle was significantly larger on the right than on the left. The bilateral total plantar pressures were significantly greater in male patients (*P*<0.05) and increased with age but were not associated with the duration of DM, foot angle, or glycosylated hemoglobin level. **Conclusion** Diabetic patients have obvious alterations in foot biomechanics with abnormalities of the plantar pressure, and the percentage of high-risk foot increases in overweight and obese patients, suggesting the need of body weight control in these patients when administering offloading treatment for prevention of diabetic foot ulcer.

Key words: diabetic; biomechanics; gait; foot type; foot angle; plantar pressure

收稿日期:2016-06-10

基金项目:广东省科技计划项目(2013B022000063)

作者简介:李文霞,在读硕士研究生,E-mail: lwxgznf@126.com

通信作者:高 方,副教授,副主任医师,E-mail: gfmhx96@fimmu.com

糖尿病足溃疡是糖尿病患者常见慢性并发症之一，据统计15%以上的糖尿病患者会在其生命中发生足部溃疡或坏疽，足底压力增高是糖尿病足溃疡的重要原因之一[1]，其相关性高达70%~90%[2]。糖尿病通过影响神经、肌肉、关节等多方面使足部的生物力学发生改变，导致足底压力发生变化[3]。已有研究表明糖尿病患者足底压力受到多种因素的影响[4-5]。足型通过改变足部负荷结构，导致足底压力异常，被认为与糖尿病足溃疡相关[6]，而足轴角度是糖尿病溃疡患者的足部负重的重要影响因素，与足部压力分布相关[7-9]。步态变化是生物力学改变的主要表现形式之一。所以对糖尿病患者步态、足型、足轴角度的分析可以进一步了解患者的生物力学特点。目前关于生物力学的研究多集中于足底压力，而忽视了对步态、足型、足轴角度的综合分析。综合了解糖尿病患者的生物力学状况可以为筛查糖尿病足高危者提供潜在危险因素，同时为糖尿病患者减压策略提供有用数据，对糖尿病足的预防有重要的意义。本研究对303例2型糖尿病患者的步态、足型、足轴角度等生物力学特点进行统计分析。

1 对象和方法

1.1 研究对象

收集2013.12~2015.03在我院内分泌科住院的，年龄大于18岁的2型糖尿病患者的资料。2型糖尿病诊断符合1999年世界卫生组织（WHO）颁布的诊断标准[2]。排除标准：（1）中枢性疾病导致的行走不稳；（2）有截肢史；（3）有足部溃疡、感染及肿胀；（4）严重心、肺功能不全，影响行走。根据上述标准纳入303例2型糖尿病患者，其中男性173例（57.1%），女性130例（42.9%），年龄为55.3±10.3岁，糖尿病病程7.8±6.3年。

1.2 研究方法

1.2.1 一般资料及相关生化指标收集　收集研究对象的年龄、性别、身高、体质量、体质量指数（Body mass index，BMI过轻组，BMI<18.5；正常组，18.5≤BMI<24；超重组，24≤BMI<28；肥胖组，BMI≥28）、糖化血红蛋白（HbA1c）、糖尿病病程。

1.2.2 足底压力检测　足底分为成10个区域：第1趾骨（T1）、第2~5趾骨（T2~5）、第1跖骨（M1）、第2跖骨（M2）、第3跖骨（M3）、第4跖骨（M4）、第5跖骨（M5）、足弓（MF）、足跟内侧（HM）、足跟外侧（HL）（图1A）。采用比利时爱思康（RS.SCAN）公司生产的footscan lm压力平板检测仪采集各个区域的压力峰值、足轴角度、足弓指数、步速、支撑时相数据。足弓指数（foot arch index，AI）为中足接触面积与整足接触的百分比。根据David G等的研究[10]中的糖尿病足溃疡足底压力切点70 N/cm^2，将总足底压力≥70 N/cm^{2}定义为高危足。依据足弓指数分为低弓足（<21%），正常足弓（21%~28%），高弓足（>28%）[11]。足轴为第2与第3跖骨间与足后跟中间的连线，足轴角度（Foot axis angle,FAA）为足轴与前进方向形成的夹角（图1B）。根据足轴角度分为3组，分别为小于15°，15°~25°，大于25°。步态周期分为支撑时期和摆动期。支撑时期根据足刚开始着地时相、跖骨刚开始着地时相、趾骨刚开始着地时相、足跟离开地面时相、趾离地时相几个关键时刻，支撑时期又分为着地阶段、前掌接触阶段、整足接触阶段、离地阶段等阶段（图1C）。将上述4个阶段所用时间与支撑相时间的百分比分别记录为P1、P2、P3、P4。

1.3 统计学分析

采用SPSS20.0软件进行统计分析，服从正态分布计量资料以均数±标准差表示，两组间比较采用独立样本*t*检验，多组间比较采用方差分析，计数资料组间构成比比较采用χ^2检验。P<0.05表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患者一般资料

本研究纳入303例2型糖尿病患者，其中男性173例（57.1%），女性130例（42.9%），年龄为55.3±10.3岁，糖尿病病程7.8±6.3年，糖化血红蛋白8.8±2.1%，身高163.2±8.5 cm，体质量66.9±11.1 kg，BMI为25.0±3.3 kg/m^2。

2.2 足底压力分布特点

左足第1趾骨（T1）、第2~5趾骨（T2~5）、第1跖骨（M1）、第2跖骨（M2）、第3跖骨（M3）、第4跖骨（M4）、第5跖骨（M5）、足弓（MF）、足跟内侧（HM）、足跟外侧（HL）压力分别为：3.01±2.06、0.98±0.94、4.90±2.64、9.78±2.95、12.61±4.12、9.73±4.00、4.58±2.50、2.75±1.26、8.93±2.52、7.73±2.18；右足则分别为：2.89±2.060.99±0.88、5.58±2.86、9.60±2.75、10.46±3.20、7.74±2.96、3.68±1.91、2.51±1.18、8.94±2.46、7.62±1.98。左足各区域压力峰值大小排序为：M3>M2>M4>HM>HL>M1>M5>T1>ML>T2~5；右足底各区域压力峰值大小排序为：M3>M2>HM>M4>HL>M1>M5>T1>ML>T2~5。比较左右足各区域的足底压力，右足的M1区域的压力峰值比左足的高（P<0.05），左足M3、M4、M5、MF区域的压力峰值均比右足的高（P均<0.05，图2）。将总足底压力≥70 N/cm^{2}定义为高危足，则左足高危足占34%，右足为17.7%。除外右足过轻组，随着BMI增大高危足比例显著增加（P<0.05，表1）。

2.3 步态、足型、足轴角度特点

左足支撑相着地阶段、前掌接触阶段、整足接触阶段、离地阶段占支撑相总时间的百分比分别为4.9±1.8、9.2±8.6、55.7±11.1、30.1±7.5；右足则分别为4.9±3.0、

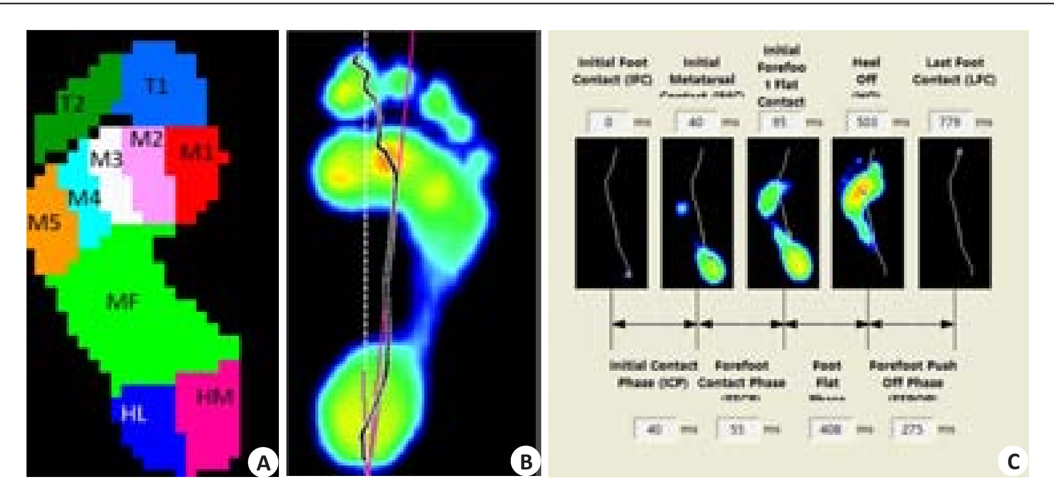


图1 足部分区及生物力学参数图示

Fig.1 Graphical representation of the defined zones in each foot and the biomechanic parameters. ***A***: 10 anatomical zones defined in each foot; ***B***: Foot axis angle; ***C***: Timing parameters of significant events during the stance phase.

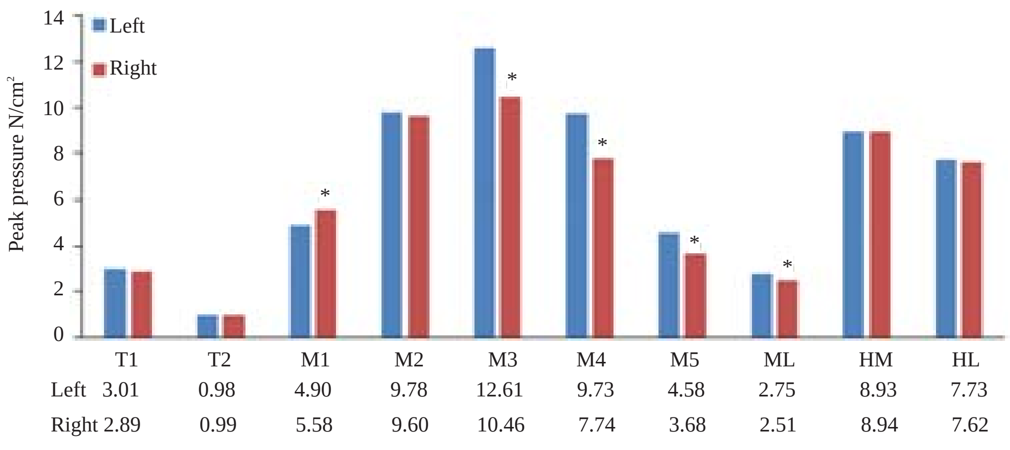


图2 左右足各区域压力峰值对比

Fig.2 Comparison of peak pressure in each region between the left and the right foot (N/cm²). **P*<0.05 *vs* left foot.

表1 不同BMI组间高危足比例

Tab.1 Percentages of high-risk foot in patients with different BMI

	Left foot		Right foot	
	<70 N/cm²	≥70 N/cm²	<70 N/cm²	≥70 N/cm²
BMI<18.5	6 (85.7%)	1 (14.3%)	6 (85.7%)	1 (14.3%)
18.5≤BMI<24	89 (79.5%)	23 (20.5%)	102 (91.1%)	10 (8.9%)
24≤BMI<28	75 (59.5%)	51 (40.5%)	101 (80.8%)	24 (19.2%)
BMI>28	28 (50.9%)	27 (49.1%)	37 (67.3%)	18 (32.7%)
Total	198 (66%)	102 (34%)	246 (82.3%)	53 (17.7%)
P	<0.05		<0.05	

8.1±10.6、56.7±13.0、30.3±7.2；左右足间差异无统计学意义。左足足弓指数较右足大(*P*<0.05)。相比于右足，左足低弓足发生率高(*P*<0.05)，而高弓足发生率低(*P*<0.05)。与右足相比，右足足轴角度大(*P*<0.05，表2)。

表2 2型糖尿病患者足部生物力学特点

Tab.2 Characteristics of foot biomechanics in type 2 diabetic patients

Parameter	*Mean*±*SD*			*n*	Percentage
Left foot AI (%)	28.1±3.9	L.Foot type	High arch	12	3.96
Right foot AI (%)	24.5±3.7*		Normal	141	46.53
Left foot FAA (°)	18.1±9.2		Flat arch	150	49.5
Right foot FAA (°)	22.5±10.4*	R.Foot type	High arch	41	13.53*
LP1 (%)	4.9±1.8		Normal	226	74.58*
LP2 (%)	9.2±8.6		Flat arch	35	11.55*
LP3 (%)	55.7±11.1	L.FFA	<15°	108	35.64
LP4 (%)	30.1±7.5		15-25°	130	42.9
RP1 (%)	4.9±3.0		>25°	65	21.45
RP2 (%)	8.1±10.6	R.FFA	<15°	71	23.43*
RP3 (%)	56.7±13.0		15-25°	115	37.95*
RP4 (%)	30.3±7.2		>25°	116	38.28*

*P<0.05 *vs* left foot. AI, arch index; FAA, foot axis angle; L, left; Rright; P1, Initial contact phase; P2, forefoot contact phase; P3foot flat forefoot phase; P4push off phase.

2.4 不同分组的总足底压力的比较

根据不同因素进行分组，比较组间总足底压力。男性双侧总足底压力均比女性大（P<0.05）。按年龄分组，<50组、50~60组、61~70组、>70组各组总足底压力随着年龄增大而下降（P均<0.05）。BMI增大，双侧总足底压力升高（P均<0.05）。与正常足弓对比，左高弓足组的总足底压力升高（P<0.05），低弓足总足底压力无明显变化（P>0.05）。按病程、糖化血红蛋白和足轴角度分组，组间的总足底压力差异均无统计学意义（P>0.05，表3）。

3 讨论

糖尿病足溃疡是下肢截肢的主要原因，足底压力增高是糖尿病足溃疡的独立危险因素[1]，而步态、足型、足轴角度等多种因素影响足底压力的大小与分布[12]。对糖尿病患者的步态、足型、足轴角度的评估并进行针对性减压治疗有利于预防糖尿病病足溃疡出现[13]。本研究对303例2型糖尿病患者足部生物力学相关参数进行分析，发现糖尿病患者的双侧压力存在差异，步态改变，足型异常发生率高，足轴角度明显增大。

本研究中糖尿病患者的双侧足底压力分布基本一致。左足各区域压力峰值大小排序：M3>M2>M4>HM>HL>M1>M5>T1>ML>T2-5；右足底各区域压力峰值大小排序：M3>M2>HM>M4>HL>M1>M5>T1>ML>T2-5，双侧均以第2跖骨、第3跖骨区域的压力峰值最大（左：9.78±2.95、12.61±4.12，右：9.60±2.75、10.46±3.20），与王爱红等的[14]研究基本一致（糖尿病患者足底压力最大前3部位为：第3跖骨>足跟外侧>第2跖骨）。正常人群的人的足底压力峰值最大的区域同样位于第2跖骨、第3跖骨区域[15]。多个研究表明糖尿病患者与正常人间的足底压力无显著性差异，仅糖尿病神经病变组患者的足底压力显著大于正常人，尤以第2、3跖骨头明显[14, 16-17]。其中的原因可能是在疾病的早期足底压力改变不明显，随着疾病加重足底压力改变逐渐显著。总而言之，糖尿病患者的最大受力部位仍为第2跖骨、第3跖骨区域，这可能是糖尿病足底溃疡较多出现在第2、3跖骨头下的原因，该部位也是预防性减压的重点。比较左右足各区域的压力峰值可见，右足的M1区域的压力峰值比左足高（P<0.05），左足M3、M4、M5、MF区域的压力峰值均比右足高（均P<0.05），说明右足的足底压力更多偏移于跖骨内侧，而左足更多偏移于跖骨中外侧和中足。本研究结果表明，对于糖尿病患者进行足底减压时应充分考虑左右足的差别进行针对性的处理，并加强对第2、3跖骨区域减压。

在David G等的研究得出发生糖尿病足溃疡的最佳压力切点为70 N/cm^2[10]。尽管糖尿病患者与正常人

表3 不同分组间总足底压力的对比

Tab.3 Comparison of total plantar pressure between different groups (N/cm²)

Variable	Group	*n*	Left foot	*n*	Right foot
Gender	Male	173	67.6±13.8	173	62.5±11.9
	Female	130	61.5±12.5	130	56.7±10.5
			P<0.05		*P*<0.05
Age[a] (year)	<50	97	68.8±130	97	63.3±11.0
	50-60	115	65.2±13.9	115	60.0±11.8*
	61-70	65	60.0±11.9*#	65	52.3±11.9*
	>70	26	61.9±14.5*	26	53.9±9.4*#
			P<0.05		*P*<0.05
Disease duration (year)	<5	134	64.2±12.9	134	60.2±12.0
	5-10	93	64.6±13.1	93	59.3±12.0
	>10	76	66.7±15.2	76	60.5±10.8
			P>0.05		*P*>0.05
BMI（kg/m²）[b]	BMI<18.5	7	48.3±13.1	7	46.8±12.8
	18.5≤BMI<24	112	61.7±12.1*	112	56.2±10.7*
	24≤BMI<28	126	67.5±13.1*#	126	62.3±10.1*#
	BMI>28	55	68.1±15.1*#	55	64.2±13.7*#
			P<0.05		*P*<0.05
HbA1c (%)	≤6.5	45	63.7±14.7	45	57.6±10.4
	>6.5	258	65.2±13.4	258	60.4±11.8
			P>0.05		*P*>0.05
Foot type	High arch	12	72.9±16.0	41	59.0±14.4
	Normal	141	64.5±13.2*	226	60.6±11.4
	Flat arch	150	64.8±13.7*	35	56.8±8.5
			P<0.05		*P*>0.05
Foot axis angle	<15°	108	64.9±13.7	71	60.4±12.1
	15°-25°	130	63.4±13.1	115	60.3±11.7
	>25°	65	67.9±14.0	116	59.3±11.4
		303	65.0±13.6	302	60.0±11.7
			P>0.05		*P*>0.05

a: **P*<0.05 *vs* <50, #*P*<0.05 *vs* 50-60; b: **P*<0.05 *vs* BMI<18.5, #*P*<0.05 *vs* 18.5≤BMI<24; c: **P*<0.05 *vs* high arch foot.

间的压力分布无显著性差异,但是本研究中左右足总足底压力≥70 N/cm²高危足的比例较高,分别为34%(左)、17.7%(右),显示左足较右足发生溃疡的危险性大。随着BMI增大,高危足比例显著增加,说明BMI越大发生

足部压力性溃疡的危险性越高。有研究也显示足底压中14%来自于体重[18],BMI较大的糖尿病患者应减压与减重并重。但过轻组右足高危足比例较正常组高(14.3% *vs* 8.9%),可见体质量过轻同样会增加溃疡危险性。

在正常步态行走时,支撑时期时间最长的是整足接触阶段,依次是离地阶段、着地阶段、前掌接触阶段,糖尿病患者支撑相不同阶段的时间占比排序与上述一致。在王建设等的研究中正常人左右足的整足接触阶段比例分别为46.51%,48.75%;左右足离地阶段比例分别为41.46%,41.9%[17]。与其相比,本研究糖尿病患者的整足接触时间延长(左:55.7±11.1,右56.7±13.0),离地阶段缩短(左: 30.1±7.5,右:30.3±7.2)。本研究中整足阶段延长不利于对前足的保护,增加前足的损伤[17]。这可能是糖尿病足溃疡多见于前足的原因之一。

足型改变使足部负荷的结构发生变化,导致足底压力异常[20-21],被认为与糖尿病足溃疡相关。本研究结果表明糖尿病患者中足型异常发生率高(左:53.46%,右:25.42%)。相比于右足,左足低弓足发生率高($P<0.05$),而高弓足发生率低($P<0.05$)。然而与正常足弓相比,低弓足总足底压力无显著的变化($P>0.05$)。左足高弓足组的总足底压力显著高于正常足组($P<0.05$),这可能是因为高弓足的接触面积减少,足底压力增大所致[22]。尽管扁平足的总足底压力无明显增大,但有研究显示扁平足的负荷率不平衡,增加了足损伤发生的概率[23]。扁平足的前足外翻,使前足内侧更先着地,力度转移到足内侧,但因为第1跖骨头大小是第2跖骨头的两倍,且第2跖骨能吸收的力比第1跖骨大1.6倍,所以第2跖骨更易出现压力性骨折和胼胝[24]。足型改变增加足部损伤的可能性[25],是糖尿病患者足部损伤的一个潜在的危险因素。使用适当的矫形器及支持垫,维持正常的足弓形态姿势,可以增加足部减震的作用[24]。加强对异常足型的筛查,尽早发现足型的改变并根据足底压力分布特点进行相应的减压,有益于预防糖尿病足的发生。

足轴角度是糖尿病足溃疡患者的足部负重的重要影响因素,足轴角度与前足负荷时间和负荷量正相关。Hasting等的研究中[7],正常成人双侧的平均足轴角度为9°,而本研究中糖尿病患者的足轴角度明显增大(左:18.1±9.2,右:22.5±10.4)。造成这种结果的可能原因是:糖尿病患者行走的稳定性比正常人差,通过增大足轴角度,使身体保持稳定。虽然不同足轴角度组间总足底压力无明显的改变,但是随着足轴角度的变化,足底压力的分布发生了改变。有研究显示足轴角度增大使足部内侧的压力增大,特别是前中足内侧[7]。由于足轴角度增大,足底压力中心偏向足的内侧,使蹬伸的推进力不是直线向前,而是斜向的,行走方向上的蹬地效果较差;并且会在胫骨和腓骨之间产生一个扭力,相应使胫骨出现内翻,可能引起膝关节过度的摩擦,导致损伤[26]。有研究表明通过改变步态的足轴角度可以减少特定部位的足底压力[8]。因此,对足轴角度较大的糖尿病患者进行足底减压时应加强足部内侧的减压,同时需要对膝关节进行保护。

男性组双侧总足底压力比女性大,考虑为男性的体重比女性大的原因,提示糖尿病患者中男性可能比女性更容易出现足底压力性溃疡。BMI增加使足底负荷增加,所以总足底压力增加。减轻体重或许有利于降低糖尿病患者的总足底压力[27]。按照年龄分组,年龄增大而总足底压力降低,可能与年龄大的患者体重减小有关,也有研究者认为年长者步速减慢使足底压力下降[28]。

本研究探讨了糖尿病患者足部的多方面生物力学特征,拓宽了对糖尿病患者足部生物力学特征的认识,为筛查糖尿病足高危者提供潜在危险因素,同时为糖尿病患者减压策略提供有用数据,并为我们下一步对糖尿病足患者的生物力学分析提供有用的对照。本研究发现糖尿病患者的步态、足型、足轴角度明显发生了改变,而这些因素与足底压力异常相关,其中支撑相的整足接触阶段延长,离地阶段缩短,足型畸形率明显增加,足轴角度较大,超重及肥胖的患者高危足比例明显增加。因此,我们多方面生物力学特点,超重及肥胖患者应注意减压与减重并重。糖尿病患者的生物力学的改变是多方面复杂的,本研究只是对有限的数据进行回顾性分析,对糖尿病患者生物力学更全面的了解需要更大样本量进行调查研究,为糖尿病足的筛查和预防提供更有力的数据。

参考文献:

[1] Frykberg RG, Lavery LA, Pham H, et al. Role of neuropathy and high foot pressures in diabetic foot ulceration[J]. Diabetes Care, 1998, 21(10): 1714-9.

[2] Boulton AJ, Vinik AI, Arezzo JC, et al. Diabetic neuropathies: a statement by the American Diabetes Association[J]. Diabetes Care, 2005, 28(4): 956-62.

[3] Morag E, Cavanagh PR. Structural and functional predictors of regional peak pressures under the foot during walking[J]. J Biomech, 1999, 32(4): 359-70.

[4] 蔡 洁, 董继宏, 汪 昕. 糖尿病周围神经病变发病机制的研究进展[J]. 中国临床医学, 2007, 14(3): 302-5.

[5] 蒋 娅, 李亚洁, 谢翠华, 等. 2型糖尿病病人足底压力影响因素研究[J]. 护理研究, 2013, 27(35): 4004-6.

[6] Morag E, Cavanagh PR. Structural and functional predictors of regional peak pressures under the foot during walking[J]. J Biomech, 1999, 32(4): 359-70.

[7] Hastings MK, Gelber JR, Isaac EJ, et al. Foot progression angle and medial loading in individuals with diabetes mellitus, peripheral neuropathy, and a foot ulcer[J]. Gait Posture, 2010, 32(2): 237-41.

[8] Rosenbaum D. Foot loading patterns can be changed by deliberately

walking with in-toeing or out-toeing gait modifications[J]. Gait Posture, 2013, 38(4): 1067-9.
[9] Lai YC, Lin HS, Pan HF, et al. Impact of foot progression angle on the distribution of plantar pressure in normal children[J]. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2014, 29(2): 196-200.
[10] Armstrong DG, Peters EJ, Athanasiou KA, et al. Is there a critical level of plantar foot pressure to identify patients at risk for neuropathic foot ulceration[J]? J Foot Ankle Surg, 1998, 37(4): 303-7.
[11] Cavanagh PR, Rodgers MM. The arch index: a useful measure from footprints[J]. J Biomech, 1987, 20(5): 547-51.
[12] Deepashini H, Omar B, Paungmali A, et al. An insight into the plantar pressure distribution of the foot in clinical practice: Narrative review[J]. Polish Annals Med, 2014, 21(1): 51－56.
[13] 孟 敏, 蒋 娅, 谢翠华. 糖尿病患者周围神经病变与足底压强的关系[J]. 护理学杂志, 2014, 29(11): 30-1.
[14] 王爱红, 李家兰, 许樟荣, 等. 2型糖尿病患者的足底压力研究[J]. 中华内分泌代谢杂志, 2005, 21(6): 500-1.
[15] 严 励, 王永慧, 杨 川, 等. 非糖尿病人群足底压力的研究[J]. 中山大学学报: 医学科学版, 2006, 27(2): 197-9, 202.
[16] 肖辉盛, 严 励, 陈黎红, 等. 糖尿病患者足底压力参数的改变及其影响因素[J]. 中华医学杂志, 2007, 87(26): 1825-7.
[17] 袁 刚, 张木勋, 张建华. 糖尿病患者足底压力研究[J]. 中国糖尿病杂志, 2002, 10(5): 262-4.
[18] Cavanagh PR, Sims DS, Sanders LJ. Body mass is a poor predictor of peak plantar pressure in diabetic men[J]. Diabetes Care, 1991, 14 (8): 750-5.
[19] 王建设, 孙 凯. 足球运动员步态支撑期时相的特征分析[J]. 保健医学研究与实践, 2014, 11(4): 19-21.
[20] Tang UH, Zügner R, Lisovskaja V, et al. Foot deformities, function in the lower extremities, and plantar pressure in patients with diabetes at high risk to develop foot ulcers[J]. Diabet Foot Ankle, 2015, 6: 27593.
[21] Fernández-Seguín LM, Diaz Mancha JA, Sánchez Rodríguez R, et al. Comparison of plantar pressures and contact area between normal and cavus foot[J]. Gait Posture, 2014, 39(2): 789-92.
[22] 高 虹, 孔德刚. 高弓足与正常足男性大学生足底压力及步态特征研究[J]. 中国学校卫生, 2013, 34(10): 1207-9, 1213.
[23] 孔德刚, 高 虹, 王 璐. 扁平足与正常足男大学生足底压力及步态特征比较[J]. 中国学校卫生, 2013, 34(6): 680-2, 685.
[24] Franco AH. Pes cavus and pes planus. Analyses and treatment[J]. Phys Ther, 1987, 67(5): 688-94.
[25] Periyasamy R, Anand S. The effect of foot arch on plantar pressure distribution during standing[J]. J Med Eng Technol, 2013, 37(5): 342-7.
[26] 尹海滨, 郭见平, 牛英群. 男大学生左足正常右足外八字步态足底压力特征分析[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2013, 35(6): 452-5.
[27] Vela SA, Lavery LA, Armstrong DG, et al. The effect of increased weight on peak pressures: implications for obesity and diabetic foot pathology[J]. J Foot Ankle Surg, 1999, 37(5): 416-20; discussion 448-9.
[28] Payne C, Turner D, Miller K. Determinants of plantar pressures in the diabetic foot[J]. J Diabetes Complications, 2002, 16(4): 277-83.

（编辑：经 媛）